

## From Data to Quanta: Niels Bohr's Vision of Physics

Perovic, Slobodan. (2021). *From Data to Quanta: Niels Bohr's Vision of Physics*. Chicago: University of Chicago Press. 244 str.

### Petar Nurkić

Univerzitet u Beogradu, Filozofski fakultet, Institut za filozofiju, Srbija  
petar.nurkic@f.bg.ac.rs

Nils Bor [Niels Bohr] je bio fizičar danskog porekla i jedan od najistaknutijih naučnika 20. veka. Čitajući Borova dela možemo da primetimo da su pojmovi kojima se koristi često neispolirani i obmanjujući za mnoge fizičare, istoričare i filozofe nauke. Slobodan Perović<sup>1</sup> kreće upravo od ove konceptualne zagonetke; kako to da je Bor postao jedan od najprominentnijih fizičara 20. veka uprkos konfuziji koju je proizveo, kako među svojim savremenikima tako i u današnjoj naučnoj zajednici? Motiv za pisanje knjige, *From data to quanta*, Perović pronalazi u odgonetavanju kontroverzne zagonetke koju lik i delo Nilsa Bora predstavljaju. To čini kroz usredsređivanje na ključne aspekte Borovih doprinosa i na recepciju njegovih dela kod najistaknutijih figura moderne fizike. Ova knjiga razvija novi pristup Borovom razumevanju fizike i istraživačkih metoda kroz eksploratornu simbiozu istorijske i filozofske analize koja najbolje osvetljuje kontekst Borove naučne prakse.

Perović primenjuje krosdisciplinarni pristup u analizi novih eksperimentalnih tehnika nastalih u tridesetim godinama 20. veka, koje odlikuje induktivno kretanje od posrednih do glavnih hipoteza (koje naziva “master” hipotezama). Ovakav induktivni put ima svoje prednosti i limitacije, što Perović u daljim poglavljima detaljno obrazlaže. Možemo da uočimo diskrepancu između Borovog ranog i poznog perioda. Njegovo rano bavljenje fizikom je karakteristično jer Bor u čistom istraživačkom smislu, oslanjajući se isključivo na naučnu praksu, utemeljuje svoju viziju fizike. Dok je njegov pozni period bio odvojen od laboratorijske prakse i praćen filozofskim ruminacijama kojima se obraća nespecijalizovanoj publici. Perović se usredsređuje na rani period zbog krucijalnog značaja eksperimenata u Borovom radu, kao i na principe koje je bazirao na njima. Rani period je, za ostvarivanje ciljeva ove knjige, mnogo značajniji jer je Bor

<sup>1</sup> Slobodan Perović je profesor istorije i filozofije nauka na Filozofskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Napisao je pregled Eksperimenata u fizici za *Stanfordovu filozofsku enciklopediju* i objavljivao radove u brojnim međunarodno priznatim časopisima, od kojih su najistaknutiji *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, *Foundations of Science* i *Synthese*.

tokom njega davao veći prioritet metodološkim nego epistemološkim i metafizičkim pitanjima, što se i prirodno nameće ukoliko razmotrimo Borovu i Ajnštajnovu debatu. Naučna zajednica kvantnih fizičara je imala različite metode i pristupe kvantnim fenomenima, a Perović pokazuje zašto je Nils Bor u tom smislu jedinstveniji i značajniji od svojih savremenika.

U filozofskom smislu Perovićeva knjiga jasno oslikava odnos teorije i eksperimenata induktivno-hipotetičkog pristupa koji je oblikovao Borovu praksu. Na taj način izdvaja faze i nivoe hipoteza različitog stepena generalizacije, od osnovnih-eksperimentalnih koje karakteriše zasnovanost na svakodnevnom jeziku u opisivanju klasičnih koncepata fizike do master hipoteza kao neklasičnih u svakom smislu. Ulazna tačka Perovićeve analize je svakako odgonetavanje zagonetke Borove kontroverznosti. Borovi savremenici, poput Ajnštajna [Albert Einstein] i Šredingera [Erwin Schrödinger], su ga kritikovali zbog kontradiktornog razumevanja čestica i talasa, kao i klasičnih i kvantnih stanja. Kritikovali su i njegov model atoma koji odbacuje prostorni kontinuitet fizičkih svojstava i uvodi kvantne skokove elektrona sa jednog diskretnog energetskog stanja na drugo. Naši savremenici, kao i filozofi nauke između Borovog i našeg doba, ga još više i oštrije kritikuju jer mu učitavaju dogmatske metafizičke preferencije. Na taj način, Lakatoš [Imre Lakatos] Borove doprinose naziva “degenerativnim istraživačkim programom”. Navodna opskurnost Bora i Hajzenberga [Werner Heisenberg] je

nazvana “Kopenhaškom interpretacijom”, u kojoj se odbacuju tradicionalni ciljevi fizike odnosno spoznaja prirode fizičkog sveta. Bor i Hajzenberg se terete za nezadovoljavanje standarda fizičke teorije, koji su određeni odgovorima na ontološka pitanja: šta postoji i šta radi ono što postoji?

Perović skreće pažnju da Bor ne poseduje *a priori* filozofsku pozadinu. Različiti eksperti za istoriju i filozofiju kvantne mehanike, filozofi fizike, filozofi nauke i naučni novinari uporno traže metafizičke i epistemičke osnove i osvrte kod Bora, umesto da se fokusiraju na metodologiju kao centralni aspekt njegovih doprinosa. Iz ovih razloga se u Borov rad neretko učitavaju identifikacije kao kantijanske, transcendentno istraživačke, pragmatičke, relaciono-holističke pa čak se dovodi u vezu i sa Talmudom, kao i Kjerkegorovim [Søren Kierkegaard] ontološkim pogledima. Ako i postoji osnova za ovakve identifikacije ona je karakteristika Borovog poznog perioda, njegovog zrelog slobodnog mišljenja koje je filozofski intrigantno ali lišeno eksperimentalnog konteksta. Prednost Perovićevog pristupa se ogleda u deflacionističkom shvatanju Borovih doprinosa, fokusu na konkretnost njegove prakse i stavljanju po strani Borovih filozofskih uticaja kako bi u žiži ostao eksperimentalno-induktivni pristup fizici.

Pomenuli smo da se Bor pridržavao čistog istraživačkog programa, gde god ga on odveo, uključujući odricanje od klasične fizike i principa koje su prominentni fizičari njegovog doba smatrali neizbežnim. Perović ne uzima metafiziku i epistemologiju kao polazište,

već istorijski orijentisanu filozofsku analizu Borove metodologije, kako bi ispravno sagledao njegove doprinose i dekonstruisao kontroverzu koja ga prati. Postoje dva načina da se pristupi Borovom naučnom razvoju; kroz njegovu razumevanje fizičkog sveta u filozofskom, pojmovnom i doktrinarnom smislu; ili kroz razumevanje osnovnih pristupa fizičkim stanjima, procesima i heuristici. Kod Bora se često ignorišu metodološki aspekti formiranja fizičkih teorija i metoda spoznavanja mikrofizičkog sveta. Njegova epistemologija je bila mnogo bliža eksperimentalnom kontekstu nego apstraktnim ontološkim razmatranjima, jer je Bor ipak bio fizičar a ne filozof i matematičar. Primarni cilj Perovićeve knjige je praćenje strukture Borovog pristupa fizici kroz brojne istorijske studije, a sekundarni predstavljanje Borove epistemologije i metafizike. Perović razvija metodološko razumevanje Borovih doprinosa, poput principa komplementarnosti i korespondencije, kroz istorijski motivisanu filozofsku analizu naučnog metoda kao konstantne i rigorozne oscilacije između teorija i eksperimenata u ranoj kvantnoj fizici. Kroz studiju slučaja i sagledavanje širog konteksta naučne zajednice fizičara, Perović predstavlja oštru razliku koja je postojala između Bora i njegovih, metafizički i matematički orijentisanih, savremenika.

U prvom delu knjige, *Preliminaries*, predstavljeno je Borovo bavljenje eksperimentalnom stranom fizike, osnovne distinkcije i koncepti, kao i Borovo razumevanje osnovne strukture naučnog metoda kroz vezu teorije i eksperimenata što čini suštinu rasprave o kla-

sičnim i kvantnim konceptima. Perović eksperimentalne rezultate i prikupljanje podataka izvodi najpre kao izveštaje o specifičnim delovima Borovih eksperimenata, odnosno nižim hipotezama, a zatim prelazi na drugu fazu teorijskog razmatranja o induktivnim procesima, odnosno prelasku sa posrednih na master hipoteze. Na osnovu prvog dela knjige čitalaci će steći opštu sliku o Borovom pristupu i istraživačkoj motivaciji, dok ostala poglavlja pružaju detaljnije opise Borovog pristupa stavljenog u praksu. Svakako, Perović podvlači značaj razumevanja Borovog pristupa kroz detaljno istorijsko sagledavanje njegovog rada.

Drugi deo knjige, *Bohr's Vision in Practice: The Old Quantum Theory*, nudi razvijenu interpretaciju Borovog metoda kroz minucioznu istorijsku analizu i relevantne primere njegovog modela atoma, korespondencionom principu i njihovoj recepciji u naučnoj zajednici tridesetih godina 20. veka. Perović posmatra Borov model atoma kao master hipotezu poduprtu trima posrednim hipotezama: Raderfordovim [Ernest Rutherford] modelom atoma, Plankovim [Max Planck] drugim zakonom kvantne radijacije i hipotezom o atomskoj stabilnosti. Ove posredne hipoteze počivaju na hipotezama nižeg reda o atomskom spektru, radijaciji, radioaktivnosti i magnetizmu. Na kraju drugog dela knjige Perović razmatra Borovu ulogu moderatora u naučnoj zajednici svog doba i filozofske implikacije Borovih metodoloških shvatanja.

U trećem delu knjige, *Toward Quantum Mechanics*, Perović se usredsređuje na Borov model komplementarnosti

koji je nastao iz novog eksperimentalnog konteksta dvadesetih godina 20. veka, kao i na njegovu ulogu u oblikovanju kvantne mehanike. Ovo je jedan od najkontroverznijih Borovih doprinosa, jer principom komplementarnosti pokušava da pomiri i poveže eksperimentalne i formalne rezultate korpuskularne i talasne teorije. Pored toga, Perović nam u ovom poglavlju pruža detaljan prikaz hipoteze neodređenosti, koju su Bor i Hajzenberg gradualno razvijali iz eksperimenata sa rasipanjem svetlosti, materije i talasnom interferencijom.

Četvrti deo knjige, *Aftermath*, je posvećen kopenhaskoj interpretaciji kvantne mehanike koja je bila previše gruba da obuhvati sve suptilnosti Borovih invencija. Perović u ovom poglavlju takođe razmatra Borove odgovore na Ajnštajn-Podolski [Boris Podolsky]-Rozen [Nathan Rosen] kritiku kvantne mehanike tako što suprotstavlja Borov eksperimentalni kontekst Ajnštajnovom filozofskom. Finalna poglavlja ove knjige su namenjena filozofima nauke i fizike, gde nas Perović kroz širi kontekst filozofskih i istorijskih studija nauke dovodi do centralnog argumenta, odnosno „bottom-up“ utemeljenosti induktivnog procesa u eksperimente. Indukcija, koja se kreće „iz osnove na gore“, je duboko utemeljena u dugu eksperimentalnu tradiciju još od Bekona [Francis Bacon] i predstavlja srž kompleksne ljudske aktivnosti sumirane pod imenom „naučni metod“. Ovde možemo da izdvojimo značajan korak u eksperimentalnom procesu koji Perović naziva „mentalnom fazom“ i osnovom za oblikovanje neke teorije. Uticajni

filozofi nauke poput Lakatoša, Kuna [Thomas Kuhn] i Fajerabenda [Paul Feyerabend] zanemaruju ulogu eksperimenata kod Bora. Perović smatra da ovde leži ključni interpretativni nespo razum i pokazuje da eksperimenti igraju glavnu ulogu u razvoju sva tri Borova glavna doprinosa i objašnjava kako je Bor uopšte došao do njih. Čitanje ove knjige pokazuje zašto ne možemo da preferiramo određeni istorijski narativ i filozofski uklapamo naučnika u njega, kao i neophodnost fokusa na izgradnju eksperimentalne infrastrukture ranog 20. veka.

Ne treba izgubiti iz vida Borov institucionalno-akademski razvoj. Karijeru je započeo u laboratorijama Tomsona [Joseph John Thomson] i Raderforda, u kojima je postojala simbioza eksperimenata i teorije. Borove eksperimentalne pretpostavke su hipotetičke po prirodi, ali su takođe opravdane eksperimentalnim tehnikama i argumentovanim eksperimentalnim strategijama, odakle je generisao opštije teorijske hipoteze. Perović značenje hipoteza uzima u širem smislu pa u njih ubraja principe, postulate, modele, aksiome i teorije kojima su se fizičari koristili u naučnom procesu. Niže hipoteze su lanac eksperimentalnih pojedinosti koje Perović predstavlja kroz istorijski okvir eksperimentalne prakse u spektroskopiji, iz koje možemo da zaključimo kako isti fenomeni mogu značajno da odstupaju u zavisnosti od raznovrsnih eksperimenata u različitim laboratorijama.

Kvantna mehanika poseduje nezavisnu istoriju i, prema Hakingovim [Ian Hacking] rečima, „život za sebe“. Novije rasprave u filozofiji nauke o direktnom

i kompleksnom empirizmu, odnosno o vezi posmatranja i podataka, mogu da se povežu sa Borovim „scattering“ eksperimentom iz 1920. godine i kontroverzom koju je izazvao. Borovo insistiranje na nezavisnim hipotezama i prominentna uloga koju je pridavao eksperimenata u istraživanju čine njegov empirizam kompleksnim. Eksperimentalna istraživačka orijentacija kod Bora je daleko primetnija nego kod Hajzenberga, Zomerfelda [Arnold Sommerfeld] i Šredingera. Različiti fizičari imaju drugačije predstave o tome kako eksperimentalni rezultati treba da budu iskorišćeni. Zomerfeld je njima rešavao probleme inženjeringa, Hajzenberg, Dirak [Paul Dirac] i Pauli [Wolfgang Pauli] su ih koristili za primenu matematičkih rešenja kao alata predikcije, dok su ih Plank i Ajnštajn koristili za podvođenje fizičkih fenomena pod nekoliko apstraktnih opštih aksioma. Svaki od pristupa ima svoje prednosti i mane, čega je bio svestan i Bor kada je u izboru između konceptualne jasnoće i heurističke vrednosti odabrao svoj „bottom-up“ pristup fizici.

Svaki fizičar preferira jedan određeni pristup krucijalnim dilemama i problemima. Borovo glavno oružje je bilo metodološko, odnosno eksperimentalno orijentisani metod istraživanja. Izbegavao je opskurne metafizičke obaveze, filozofske ideje i matematički ishitrene generalizacije zasnovane na partikularnom eksperimentalnom svedočanstvu. Najveći akcenat Perovićeve knjige je na indukciji u filozofiji nauke, gde se i dalje ne zna da li postoji uniformni metod generalizacije naučnog saznanja. Debata o tome šta sačinjava

induktivni proces se kreće od rasprava o apstraktnim činjenicama do inferencijalnih pravila i adekvatnih principa. U svakom slučaju, detaljna istorijska studija je neophodan pristup da bi se razumeo naučni doprinos Nilsa Bora. U idealnom slučaju, projekti poput Perovićeve kombinuju studije slučaja i apstraktne opšte argumente. Integracija filozofske i istorijske analize treba da bude zajednička tačka jer minimalizuje ishitrene zaključke o nečemu kompleksnom kao što je naučni metod i ne pridržava se diktuma da je istorija nauke bez filozofije nauke slepa. Istina je da nijedno od navedena dva ne mogu jedno bez drugog.

Perovićeve knjige nije elaborirana konceptualna diskusija sa proširenom studijom slučaja kao ilustracijom, kao što nije ni proširena sumacija trenutne mudrosti o istoriji rane kvantne mehanike. Ova knjiga je istorijski informisana i filozofski motivisana interpretacija naučne prakse Nilsa Bora, kao i njegove interakcije sa savremenima. Ponovićemo, Perovićeve glavni fokus je Borova istraživačka metodologija, kao integrisana istorijska i filozofska perspektiva Borove prakse, što znači da su filozofske doktrine poput ontoloških i metafizičkih razmatranja ovde izostavljene. Uzimanje za ozbiljno istorijskih aspekata u filozofskoj analizi može da poveže analizu sa naučnom praksom. U suprotnom, imali bismo samo određene filozofske preferencije koje su nedovoljne za adekvatno hvatanje u koštac sa kompleksnim naučnikom kao što je Nils Bor. Borova zrela misao je spekulativna i intrigantna, ali se srž ove knjige nalazi u Borovoj interpretaciji klasičnih

konceptata u njegovoj ranoj fazi naučnog istraživanja.

Perovićev partikularno-induktivni model proističe iz snažnog utiska bavljenja istorijom kvantne mehanike i čestičnom fizikom, kao i iz bavljenja različitim fazama u razvoju teorije gde je svaka okarakterisana supstancijalno drugačijim pristupom fizičkim fenomenima, naročito u pogledu veze između teorije, eksperimenata i činjenica. Perović smatra da eksperimenti igraju centralnu ulogu u generisanju hipoteza na svim nivoima formiranja neke teorije. Ovakav pristup mikrofizičkim fenomenima čvrsto centrira Borovu viziju fizike. Perović dodaje da su samostalne filozofske studije naučnog metoda mnogo prikladnije u oblasti biologije nego u fizici. Iz čega možemo da zaključimo da je cilj ove knjige identifikacija opštih tendencija i razvojnih faza sa specifičnim periodima i epizodama u

Borovoj praksi.

Da zaključimo, Slobodan Perović u knjizi, *From Data to Quanta: Niels Bohr's Vision of Physics*, odgovara na krupna pitanja; poput toga kako hipoteze nastaju u ovom konkretnom slučaju, da li je inferencijalni proces vođen činjenicama ili pravilima, i zaključuje da je Bor favorizovao činjenice i eksperimentalne rezultate. U analizi strukture procesa koji je generisao Borova glavna ostvarenja, Perović objašnjava kako su eksperimentalne hipoteze i eksperimentalni kontekst vodili Borov put, dok su drugi teorijski i formalni metafizički aspekti bili sekundarni. Kroz fokusiranu osnovu induktivno-hipotetičkog razumevanja Borove metodologije i naučne prakse, Perović nam pokazuje da je previše rano, a da možda nikada ni neće biti moguće, odbaciti našeg čudesnog danskog fizičara kao irelevantnog.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Želeo bih da se zahvalim Miroslavu Galiću na pozivu da napišem prikaz knjige *From Data to Quanta: Niels Bohr's Vision of Physics*, kao i profesoru Slobodanu Peroviću koji je odgovorima na moja pitanja doprineo da ovaj prikaz bude kombinacija čitanja njegove knjige i živog intervjua. Naravno, zahvalio bih profesoru Peroviću što svake srede u Institutu za filozofiju izdvaja vreme da sa mlađim kolegama poput mene diskutuje o filozofiji nauke.